

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: VI Seminário de Inovação e Tecnologia

A TECNOLOGIA DE MANEJO NO APROVEITAMENTO DE NITROGÊNIO NO TRIGO BRASILEIRO PELA DOSE E FRACIONAMENTO COM EQUAÇÕES LINEAR E MÚLTIPLA NA SIMULAÇÃO DE EXPECTATIVAS DE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS¹

Ana Paula Brezolin², Rubia Diana Mantai³, Anderson Marolli⁴, Osmar Brunelau Scremin⁵, Fabricia Roos-Frantz⁶, José Antonio Gonzalez Da Silva⁷.

¹ Parte dos resultados de pesquisa desenvolvida pelo DEAg/UNIJUÍ

² Doutoranda em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

³ Doutoranda em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ

⁴ Doutorando em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

⁵ Doutorando em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

⁶ Professora do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

⁷ Professor do Departamento de Estudos Agrários, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

Introdução

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um cereal cultivado em larga escala, em diversas regiões do mundo, sendo utilizado de diferentes formas que vai desde a farinha para a fabricação de pães, massas, biscoitos ao farelo usado na alimentação animal como complemento vitamínico e na indústria farmacêutica na produção de óleos e dietéticos (PENCKOWSKI, et al., 2010). Contudo, o trigo se constitui em uma importante cultura na rotação e/ou sucessão cultural nas unidades de produção agropecuárias, garantindo o fluxo econômico e a sustentabilidade da propriedade (RODRIGUES, et al. 2014).

A alta produtividade do trigo está associada ao desempenho das cultivares, tecnologias de manejo, clima e solo favoráveis (SILVA et al., 2015). Dentro das tecnologias de manejo, a adubação nitrogenada tem reflexos expressivos no aumento da produtividade (MANTAI et al., 2015). No entanto, em anos desfavoráveis, a eficiência de aproveitamento do nitrogênio pode ser comprometida, reduzindo a produtividade e aumentando os custos de produção (SILVA et al., 2015).

O trigo, por ser da família das Gramíneas, é essencial a adubação nitrogenada para a obtenção de alta produtividade (CAMPONOVARA et al., 2016). Além disto, o nitrogênio é o nutriente mais absorvido e o mais exportado pelas plantas de trigo. Inclusive, exerce forte influência na definição da produtividade e qualidade de grãos (PRANDO et al, 2013). Para tanto, faz-se necessária a aplicação do mesmo, em forma N-fertilizantes e/ou N-residual, para que a planta possa completar os processos biológicos de crescimento e reprodução. Todavia, a adubação nitrogenada requer cuidados quanto à época e doses de aplicação frente aos distintos sistemas de cultivo de alta e

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: VI Seminário de Inovação e Tecnologia

reduzida liberação de N-residual (SILVA, et al., 2015). Pequenas doses limitam a produtividade, mas altas doses podem levar ao acamamento, dificultar a colheita e elevar os custos de produção (TEIXEIRA FILHO et al., 2010). Destaca-se que o uso de altas doses junto aos efeitos climáticos pode reduzir a eficiência de uso pela planta, o que poderia ser contornado, se fornecido em diferentes momentos na planta (STEFEN et al., 2014). Uma condição que gera discussão sobre a necessidade de fracionamento do nutriente em momentos específicos da cultura (OKUMURA et al., 2011). Portanto, a necessidade de alterações tecnológicas de manejo do nitrogênio para aumento da eficiência de uso de nutriente à produtividade do trigo.

O objetivo do estudo é a melhoria da eficiência de uso de N-fertilizante em trigo em maximizar a produtividade de grãos pelo ajuste da dose cheia ou fracionada do nitrogênio, por condição de ano favorável e desfavorável ao cultivo sob sistema de sucessão de alta liberação de N-residual.

Metodologia

O presente estudo foi realizado nos anos agrícolas de 2013 e 2014, no Instituto Regional de Desenvolvimento Rural (IRDeR), pertencente ao Departamento de Estudos Agrários (DEAg) da Unijuí, localizado no município de Augusto Pestana, RS. No estudo, o delineamento foi o de blocos ao acaso com quatro repetições em esquema fatorial 4 x 3, para doses de N-fertilizante (0, 30, 60, 120 kg/ha) e formas de fornecimento do nutriente [condição cheia (100%) no estágio fenológico V3 (terceira folha expandida); fracionada (70%/30%) no estágio fenológico V3/V6 (terceira e sexta folha expandida) e; fracionada (70%/30%) no estágio fenológico V3/E (terceira folha expandida e início de enchimento de grãos)], respectivamente. Foi utilizada a cultivar de trigo BRS Guamirim de porte baixo, ciclo precoce, resistente ao acamamento, de classe comercial tipo pão e de alto potencial produtivo. Portanto, esta cultivar representa o biótipo padrão comumente desejado pelos tricultores do Sul do Brasil. O experimento foi conduzido no sistema soja/trigo, com a unidade experimental representada por 5 linhas de 5 m de comprimento e espaçamento entre linhas de 0,20 m, correspondendo a 5 m².

Ao atender os pressupostos de homogeneidade e normalidade via teste de Bartlett, foi realizada análise de variância para detecção dos efeitos principais e de interação. Com base nessas informações, procedeu-se ao ajuste de equação linear ($PG = a \pm bx$) na estimativa da produtividade de grãos e o teste de médias por Scott & Knott, em cada condição de fornecimento do N-fertilizante. Para a definição da dose ideal ($PG = a \pm bx \pm cx^2$) foi obtida estimativa da máxima eficiência técnica ($MET = - [(b)/(2c)]$) de uso no nitrogênio à produtividade de grãos. Na simulação da produtividade de grãos através da superfície de resposta a equação na forma ($Z = b_0 \pm b_1X + b_2Y - b_3Y^2$) foi escolhida através do maior coeficiente de determinação (R^2). Os valores b são as estimativas dos coeficientes do polinômio, os valores X e Y representam os valores codificados dos fatores [época (V3 = 30 dias; V3/V6 = 60 dias; V3/E = 90 dias) e doses de nitrogênio (0, 30, 60, 120 kg/ha de N), respectivamente]. Os termos lineares, b_1X e b_2Y , são responsáveis pelos efeitos principais, o termo quadrático b_3Y^2 , é responsável pelo efeito da curvatura e pelo produto do termo. Nas determinações foi utilizado o programa computacional Genes.

Resultados e discussão

O efetivo favorecimento do ano de 2013, Figura 1, destaca adequada precipitação ao longo do ciclo e próxima dos dias que antecederam a adubação com o N-fertilizante. Além disso, a temperatura máxima observada no momento da aplicação de N-fertilizante foi ao redor de 15°C, e com condições favoráveis de umidade do solo por chuvas que ocorreram em dias anteriores a adubação.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: VI Seminário de Inovação e Tecnologia

Por outro lado, o ano de 2014 condicionou a uma elevada precipitação pluviométrica no início do cultivo do trigo, bem como, no final, próximo ao período de maturidade fisiológica, prejudicando o desenvolvimento da plântula e no final a qualidade dos grãos. Na Tabela 1, é destacado que nos meses de maio e junho as mínimas não estiveram abaixo de 5°C. A temperatura máxima, mesmo nos meses mais quentes do ciclo, não ultrapassaram na média do mês os 27°C. Destaca-se, que no ano de favorecimento à máxima produtividade de grãos, o total acumulado de precipitação pluviométrica foi similar à média de precipitação ao longo de 25 anos. Por outro lado, a reduzida expressão da produtividade em 2014 foi condicionada ao elevado volume de chuvas na comparação à média histórica. Portanto, com base nas médias da Tabela 1, resultados da Figura 1, os anos foram classificados como: 2013 (ano favorável = AF) e 2014 (ano desfavorável = AD) ao cultivo do trigo.

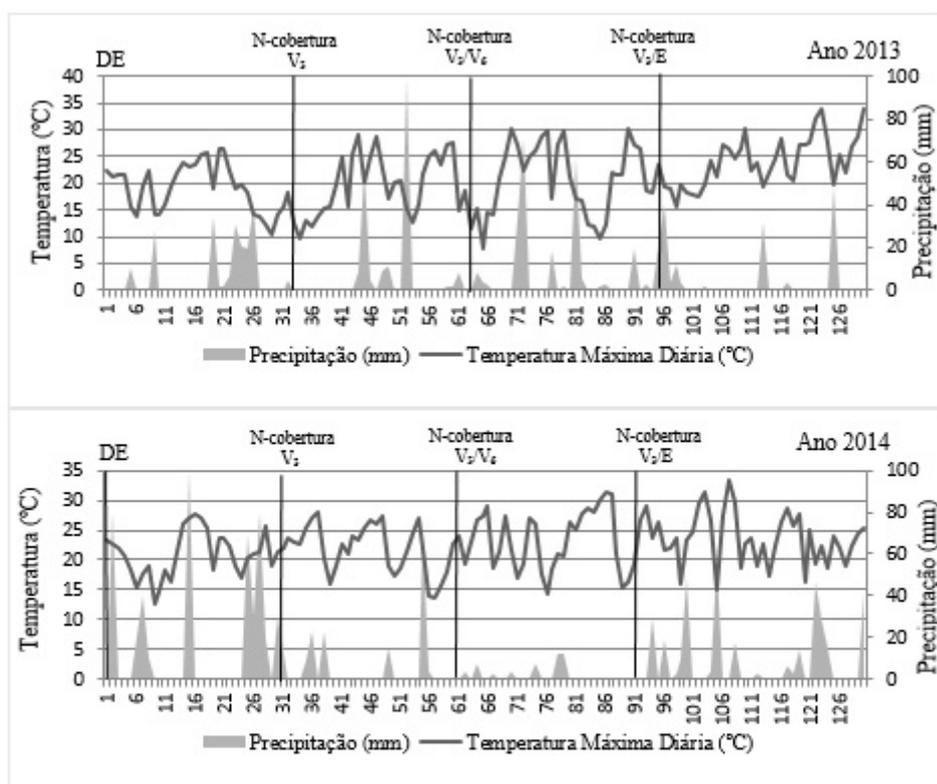


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura máxima no ciclo de cultivo do trigo com os dias de aplicação do nitrogênio. DE= Data da emergência: 2013 (17/06); 2014 (25/06). DAE= Dias pós a emergência. V₃ = Condição cheia (100%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida. V₃/V₆ = Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira e sexta folha expandida e V₃/E= Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida e início do enchimento de grão.



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: VI Seminário de Inovação e Tecnologia

Tabela 1. Temperatura e precipitação nos meses de cultivo e média de produtividade.

Ano	Mês	Temperatura (°C)			Precipitação (mm)		PG _g (kg ha ⁻¹)	Classe
		Mínima	Máxima	Média	Média 25 anos*	Ocorrida		
2013	Maio	10,5	22,7	16,6	149,7	100,5	3358	AF
	Junho	7,9	18,4	13,15	162,5	191		
	Julho	8,3	19,2	13,75	135,1	200,8		
	Agosto	9,3	20,4	14,85	138,2	223,8		
	Setembro	9,5	23,7	16,6	167,4	46,5		
	Outubro	12,2	25,1	18,65	156,5	211,3		
	Total	-	-	-	909,4	973,9		
2014	Maio	10,8	23,6	17,2	149,7	412	1414	AD
	Junho	8,6	19	13,8	162,5	412		
	Julho	9,7	21,82	15,76	135,1	144		
	Agosto	8,8	23,66	16,23	138,2	77,8		
	Setembro	13,33	23,58	18,46	167,4	274,8		
	Outubro	16,02	27,49	21,76	156,5	230,8		
	Total	-	-	-	909,4	1551,4		

*= Média de precipitação pluviométrica obtida dos meses de maio a outubro de 1989 a 2014; AI= Ano intermediário; AF= Ano favorável; AD= Ano desfavorável; PG_g= produtividade média de grãos.

Na Tabela 2, ligando o estágio fenológico da cultura de trigo com o dia de fornecimento de nitrogênio, no ano de 2013, classificado com favorável ao cultivo, houve redução significativa da produtividade de grãos com o atraso da adubação. Portanto, a partir de V3 há uma redução de produtividade de grãos em 3,87 kg/ha por dia. No ano classificado como desfavorável (2014), o coeficiente angular da equação não detectou diferença, corroborando com médias similares nas distintas épocas de aplicação. Espindula et al. (2010), destacam que anos de clima favorável e desfavorável alteram a disponibilidade de nitrogênio e a eficiência de uso pela planta refletindo nos caracteres de produtividade.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: VI Seminário de Inovação e Tecnologia

Tabela 2. Equação de regressão para a estimativa da produtividade de grãos e médias de produtividade nos estádios (dias) do fornecimento de nitrogênio no sistema soja/trigo.

Ano	Estádio (Dias)	PG (kg ha ⁻¹)	Equação PG= a ± bx	R ² (%)	P (b _{ix})
2013 (AF)	V ₃ (30)	3346 a		90	*
	V ₆ (60)	3295 a	3484-3,87x		
	E (90)	3113 b			
2014 (AD)	V ₃ (30)	1488 a		50	ns
	V ₆ (60)	1390 a	1504-1,21x		
	E (90)	1415 a			

V₃ = Condição cheia (100%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida (30 dias); V₆ = Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira e sexta folha expandida (60 dias); E = Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida e início do enchimento de grão (90 dias); R² = coeficiente de determinação; AF = Ano favorável; AD = Ano desfavorável PG = Produtividade de Grãos (kg ha⁻¹); P (b_{ix}) = probabilidade da significância de inclinação; * = Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste; ns = Não significativo; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo modelo de Scott Knott.

Na Tabela 3, são apresentados modelos que buscam validar a máxima eficiência de uso do nitrogênio independente das condições de fornecimento do nitrogênio nos anos de cultivo. Em 2013 (AF), a linearidade foi obtida no comportamento da produtividade de grãos. Uma condição que reporta os benefícios do ano favorável na absorção de nitrogênio à elaboração dos grãos, confirmada pelos elevados valores médios obtidos com o incremento das doses de nitrogênio. Em 2014, a equação quadrática foi significativa, descrevendo uma dose ideal aos 89 kg/ha de N, com produtividade simulada em 1704 kg/ha. Espindula et al. (2010), obtiveram as melhores produtividades de grãos com doses variando de 70 a 120 kg/ha de N. Heinemann et al. (2006), destacam que o trigo sob irrigação tem uma resposta positiva de até 156 kg/ha de N, chegando obter um rendimento esperado de 6472 kg/ha.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: VI Seminário de Inovação e Tecnologia

Tabela 3. Equação da produtividade de grãos e médias de produtividade nas doses de nitrogênio e definição da dose ideal com simulação da produtividade de grãos.

Ano	Dose (N)	PG (kg ha ⁻¹)	Equação PG= a ± bx ± cx ²	R ² (%)	P (b _{ix})	Dose ideal (N)	PG _E (kg ha ⁻¹)
2013 (AF)	0	1930 d	2132+21,3x	96	*	-	-
	30	2871 c					
	60	3665 b					
	120	4539 a					
2014 (AD)	0	1069 c	1065+14,3x-0,08x ²	99	*	89	1704
	30	1412 b					
	60	1638 a					
	120	1605 a					

PG= Produtividade de grãos (kg ha⁻¹); PG_E= Produtividade de grãos estimado (kg ha⁻¹); AF= Ano favorável; AD= Ano desfavorável; R²= Coeficiente de determinação; P (b_{ix}) = Probabilidade da significância de inclinação da reta; * = Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste; ** = Não significativo; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo modelo de Scott Knott.

A produtividade de grãos pode ser otimizado frente à análise simultânea envolvendo as inter-relações da dose com a época/fracionamento do N-fertilizante se forem conhecidas a função dos valores experimentais, gerando um modelo matemático. Um gráfico dessa função produz a superfície de resposta na variável de interesse. Desta forma, na Tabela 4, estão apresentados os distintos modelos que permitem esta simulação em cada ano de cultivo.

Tabela 4. Modelos de superfície de resposta no uso combinado de doses e condições de fornecimento do nitrogênio a produtividade de grãos de trigo no sistema soja/trigo.

Modelo Estrutural/Superfície de Resposta			
Modelo	R ²	Modelo	R ²
2013 (AF)		2014 (AD)	
Z=3483-3,87188X	9	Z=1503-1,21146X	18
Z=2131+21,31817Y	90	Z=1212+ 4,15492Y	45
Z=2364-3,87188X+ 21,31817Y	91	Z=1285-1.21146X+4,15492Y	47
Z=2147+ 4,79062X-0,07219X ² + 21,31817Y	91	Z=1492-9,47396X+0,06885X ² +4,15492Y	48
Z=2155-3,87188X+ 35,74258Y-0,11606Y ²	95	Z=1138-1,21146X+14,33761Y-0,08193Y ²	70
Z=1938+ 4,790X-0,072X ² +35,742-0,116Y ²	94	Z=1344-9,473X+0,068X ² +14,337Y-0,081Y ²	69
Z=2418-4,78001X+20,28031Y+0,01729XY	91	Z=1335-2,04667X+3,20039Y+0,0159XY	47
X mínimo = 30	Y máximo = 120	X mínimo = 30	Y máximo = 120
X máximo = 90	Z mínimo = 1678	X máximo = 90	Z mínimo = 891
Y mínimo = 0	Z máximo = 5024	Y mínimo = 0	Z máximo = 2048

Z= Produtividade de grãos (kg ha⁻¹); X = Condição de fornecimento do nitrogênio [V₃ = Condição cheia (100%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida (30 dias); V₃/V₆ = Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira e sexta folha expandida (60 dias); V₃/E = Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida e início do enchimento de grão (90 dias)]; Y = Doses de nitrogênio (0, 30, 60 120 kg ha⁻¹); AF= Ano favorável; AD= Ano desfavorável; R² = coeficiente de determinação.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: VI Seminário de Inovação e Tecnologia

Na Figura 2, estão apresentados os gráficos da análise superfície de resposta estimando a produtividade de trigo nos anos de estudo (2013 e 2014). De modo geral, a partir das condições definidas ficaram evidentes em todas as situações propostas que as simulações foram eficientes na predição da produtividade de grãos na comparação com os dados observados (valores não apresentados). Os modelos polinomiais de superfície de resposta foram eficientes na interpretação biológica da dose e condição de fornecimento do nitrogênio nos distintos anos, desfavorável e favorável de cultivo do trigo.

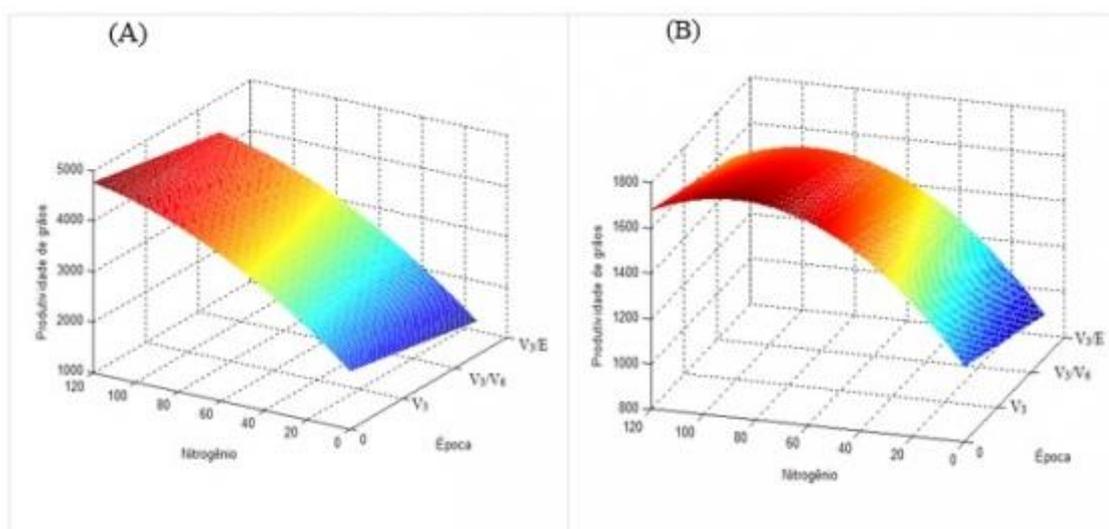


Figura 2- Otimização do uso de nitrogênio nas épocas de fornecimento do nitrogênio nas condições de ano e sistemas de sucessão. (A) = 2013 ano favorável; (B) = 2014 ano; V_3 = Condição cheia (100%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida; V_3/V_6 = Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira e sexta folha expandida e V_3/E = Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida e início do enchimento de grão.

Conclusão

Existe a possibilidade de maior eficiência de uso do nitrogênio a produtividade de grãos do trigo brasileiro por alterações da tecnologia de manejo pela dose e fracionamento. Em anos favoráveis de cultivo frente à precipitação pluviométrica no sistema de alta liberação de N-residual, a dose cheia se mostra mais eficiente e indicado, evidenciando maior produtividade de grãos. Além disso, qualifica o modelo de otimização da superfície de resposta na predição da produtividade de grãos atrelado as doses e condições de fracionamento do N-fertilizante.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L., anos, N-fertilizante, alta relação C/N.

Agradecimentos

À CAPES, CNPq, FAPERGS e à UNIJUÍ, pelo aporte dos recursos destinados ao desenvolvimento deste estudo e pelas bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica, de Pós-graduação e de Produtividade em Pesquisa.

Referências bibliográficas

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: VI Seminário de Inovação e Tecnologia

CAMPONOGARA, A. da S. et al. Avaliação dos Componentes de Rendimento do Trigo quando Submetido a Diferentes Fontes de Nitrogênio. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 524-532, 2016.

ESPINDULA, M. C. et al. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do trigo. *Ciência Agrotécnica*, v.34, n.6, pp. 1404-1411, 2010.

HEINEMANN, A.B. et al. Eficiência de uso da radiação solar na produtividade do trigo decorrente da adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.2, p.352-356, 2006.

MANTAI, R. D. et al. A eficiência na produção de biomassa e grãos de aveia pelo uso do nitrogênio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n. 4, p.343-349, 2015.

MANTAI, R. D. et al. The effect of nitrogen dose on the yield indicators of oats. *African Journal of Agricultural Research*, v.10, n. 39 p. 3773-3781, 2015.

OKUMURA R. S. et al. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. *Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia*, v. 4, n. 2, p. 26-244, 2011.

PENCKOWSKI, L. H. et al. Nitrogênio e redutor de crescimento em trigo de alta produtividade. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 31, n. 3, p. 473-479, 2009.

PRANDO, A. M. et al. Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. *Pesquisa agropecuária Tropical*, v. 43, p.34-41, 2013.

RODRIGUES, L. F. O. S. et al. Características agronômicas do trigo em função de *Azospirillum* brasileiro, ácidos húmicos e nitrogênio em casa de vegetação. *Engenharia Agrícola Ambiental*, v.18, n.1, p.31-37, 2014.

SILVA, José A. G. da et al. A expressão dos componentes de produtividade do trigo pela classe tecnológica e aproveitamento do nitrogênio. *Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, v.19, n.1, p.27-33, 2015.

STEFEN, D. L. V. et al. Adubação nitrogenada associada ao emprego de reguladores de crescimento em trigo cv. Mirante. *Ciências Agroveterinárias*, v.13, n.1, p.30-39, 2014.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M. et al. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, n.8, p.797-804, 2010.